

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 41 39 359 A 1

51 Int. Cl.⁵:
G 01 M 9/04
G 01 M 17/00

21 Aktenzeichen: P 41 39 359.7
22 Anmeldetag: 29. 11. 91
43 Offenlegungstag: 3. 6. 93

DE 41 39 359 A 1

71 Anmelder:
Kramer, Carl, Prof. Dr.-Ing., 5100 Aachen, DE

72 Erfinder:
Kramer, Carl, Prof. Dr.-Ing.; Konrath, Bernd,
Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Windkanal mit Freistrahlmessstrecke zur Simulation von Windrichtungsschwankungen

57 Windkanal mit Freistrahlmessstrecke zur Simulation von Windrichtungsschwankungen, vornehmlich zur Untersuchung von Fahrzeugen, ausgestattet mit einer Düse, die bei laufendem Windkanal zur Veränderung der Windströmungsrichtung geschwenkt werden kann, wobei die Düse aus einem feststehenden Teil und einem schwenkbaren Vorder- teil besteht und das Düsenvorderteil von einer Zylinderfläche umgeben ist, die nach Art eines Kükens in der Stirnwand der Düsenvorkammer zum Meßraum hin abgedichtet ist; innerhalb der Düsenvorkammer, welche die Düse umgibt, kann beim Schwenken des Düsenvorderteils eine Ausgleichströmung stattfinden, so daß die Qualität der Strahlströmung des Windkanals durch die Schwenkbewegung, wenn überhaupt, dann nur kaum merklich, beeinträchtigt wird. Zur Untersuchung von strömungsakustischen Problemen bei wechselnder Windrichtung kann der Windkanal mit Schalldämm- und Schalldämpfeinrichtungen sowie einer absorbierenden Auskleidung ausgestattet sein.

DE 41 39 359 A 1

Die Erfindung betrifft einen Windkanal mit Freistrahlmessstrecke, in welcher die Strömungsrichtung während des Betriebes des Windkanals geschwenkt werden kann. Nach den Lehren der Erfindung ist dies bei blasendem Wind möglich, ohne wesentliche Einbußen der aerodynamischen Qualität der Strömung in Kauf nehmen zu müssen.

Ein solcher Windkanal ist überall da von Vorteil, wo rasche Änderungen der Strömungsrichtung, wie sie z. B. im natürlichen Wind auftreten, simuliert werden sollen, oder wenn es darum geht, die aerodynamischen Eigenschaften und die Reaktion eines umströmten Körpers in einem Strömungsfeld mit sich rasch ändernder Strömungsrichtung zu studieren. Von besonderer Bedeutung ist dies im Bereich der Fahrzeugaerodynamik zur Untersuchung von Seitenwindeffekten. Zur Zeit ist es nur möglich, Fahrzeuge auf ihre Seitenwindeignung dadurch zu untersuchen, daß das auf einer drehbaren Plattform montierte Fahrzeug mit seiner Längsachse gegen die Strömungsrichtung verdreht wird. Die unter diesen Bedingungen gemessenen aerodynamischen Daten, wie z. B. Luftkräfte und Luftkraftmomente, gelten aber nur für den Fall der stationären Strömung, der beim praktischen Fahrbetrieb wesentlich weniger bedeutend ist als der nicht-stationäre Vorgang, welcher sich abspielt, wenn ein Fahrzeug in eine Seitenwindböe eintaucht. Diesen Effekt versucht man durch Seitenwindanlagen zu erfassen, an denen Fahrzeuge mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorbeifahren. Solche Untersuchungen lassen sich aber bei einer Fahrzeugentwicklung nur in bereits sehr weit fortgeschrittenen Entwicklungsstadien machen, erfordern einen hohen Aufwand und sind zudem noch, da sie auf einer Teststrecke stattfinden müssen, stark witterungsabhängig und nur unter besonderen meteorologischen Bedingungen durchführbar. Außerdem lassen sich mit einer Seitenwindversuchsanlage nur Effekte erfassen, welche die Führung des Fahrzeuges betreffen und nicht etwa andere für die Fahrzeugentwicklung wesentliche Einflüsse, wie z. B. die Veränderung des Strömungsgeräusches bei rascher Änderung der Anströmrichtung. Gerade bei komfortablen Fahrzeugen, die im Innenraum nur einen geringen Lärmpegel aufweisen, ist die Veränderung des Umströmungsgeräusches bei wechselnder effektiver Windrichtung sehr störend. Diese Veränderungen lassen sich in üblichen aero-akustischen Windkanälen für die Fahrzeugaerodynamik, in welchen die Anblasrichtung lediglich durch Drehen des auf einer Drehplattform aufgestellten Fahrzeugs verändert werden kann, nicht erfassen. Man ist daher zur Lösung dieses Problems auf aufwendige Fahrversuche angewiesen. Diese Fahrversuche können aber erst stattfinden, wenn bereits ein Prototyp vorliegt, also wesentliche Veränderungen in der Entwicklung kaum noch möglich sind. Ein solcher Windkanal mit hinreichenden akustischen Eigenschaften, also einem ausreichend niedrigen Lärmpegel, und zugleich im Betrieb veränderlicher Anströmrichtung kann auch bei der Qualitätskontrolle hochwertiger Automobile eingesetzt werden. Man kann nämlich im Rahmen der Endkontrolle die Innengeräusche bei entsprechender Windgeschwindigkeit und Schwenken der Düse kontrollieren, um Ursachen für störende Strömungsgeräusche, wie z. B. nicht vollständig verschlossene Öffnungen, fehlerhaft eingestellte Türen, usw. zu erkennen. Auf diese Weise ließen sich erhebliche Werkstatt-Ser-vice- und Garantieleistungen einsparen.

Daher besteht die Aufgabe, einen Windkanal zu schaffen, mit den die Effekte der veränderlichen Schräganströmung ausreichend realitätsgetreu simuliert werden können.

Eine solche Einrichtung ist durch die vorliegende Erfindung eines Windkanals mit Freistrahlmessstrecke und mit einer zur Erzeugung einer in ihrer Richtung veränderlichen Strömung bei laufendem Windkanal schwenkbaren Windkanaldüse gegeben. Dieser Windkanal kann zusätzlich mit akustisch wirksamen Einrichtungen, die in die Strömungsführung integriert sind, ausgestattet werden, um den Schalldruckpegel so weit zu senken, daß auch die Wahrnehmung und meßtechnische Erfassung der von der Anströmrichtung abhängigen Strömungsgeräusche möglich ist. Die Patentansprüche beschreiben die vorteilhafte und zweckmäßige Ausführungsform.

Ein typisches Ausführungsbeispiel wird anhand der Figuren erläutert. Es zeigen die Fig. 1 und 2 verschiedene Ansichten und Schnitte des Windkanals, die Fig. 3 eine Dreiseiten-Ansicht der Windkanaldüse und die Fig. 4 bis 9 Geschwindigkeitsprofile, gemessen im Strahl hinter dem Düsenaustrittsquerschnitt, aus denen die Gleichmäßigkeit und hohe Qualität der Strahlströmung bei unverschwenkter und bei verschwenkter Düse hervorgeht.

Zunächst wird anhand der Fig. 1 und 2 der Aufbau des Windkanals beschrieben. Der Windkanal ist als sogenannter Göttinger Windkanal mit geschlossener Strömungsrückführung ausgeführt. Aus der Düse (1) tritt der Windkanalstrahl, gekennzeichnet durch den Strömungspfeil (2), aus und umströmt das Prüfobjekt, im Fall der Fig. 1 und 2 ein Fahrzeug oder ein Fahrzeugmodell (3). Dieses Fahrzeug steht auf den in Fig. 1 nur angedeuteten Rollen eines Leistungsprüfstandes, der in den Windkanal integriert sein kann, um auch Versuche im Fahrbetrieb durchführen zu können. Der Windkanalstrahl wird von dem Meßraum (4) umgeben. Die Innenwand des Meßraums kann zur Erzielung der für akustische Untersuchungen notwendigen geringen Reflexion von Schallwellen eine übliche akustische Auskleidung, z. B. in Form von Akustik-Keilen (5) erhalten. An der der Windkanaldüse gegenüberliegenden Seite des Meßraums tritt der Windkanalstrahl in den Auffänger (6) ein, an den sich ein Diffusor (7) anschließt. Der Auffänger hat eine gerundete oder entsprechend abgekannte Einlaufrundung (8) und kann in üblicher Weise justiert bzw. verstellt werden, um zu erreichen, daß der statische Druck im Windkanalstrahl hinreichend genau dem statischen Druck in der Umgebung entspricht und sich insbesondere in Strömungsrichtung nicht in unzulässiger Weise verändert.

Stromab vom Diffusor (7) ist in dem Verbindungsschenkel zwischen Diffusor und den im vorliegenden Fall oberhalb der Meßstrecke angeordnetem Ventilator (9) eine zugleich als Absorptions- und Umlenkschalldämpfer wirkende Umlenkbeschaufelung eingebaut. Der Ventilator (9) ist ein Axialventilator, dessen Antriebsmotor in der Ventilatornabe untergebracht ist. An diesen Ventilator schließt sich ein Kegeldiffusor (10) an. Hinter diesem Kegeldiffusor folgt eine Querschnittsverformung (11) von rundem auf rechteckigen Querschnitt, die zugleich auch Diffusoreigenschaften haben kann, also den Strömungsquerschnitt in Strömungsrichtung noch weiter vergrößert. Am Ende dieses Diffusors ist ein Kühler (12) eingebaut. Dieser Kühler ist erforderlich, um die mit dem Ventilator in den Windkanal eingebrachte Energie, die sich in Wärme umwandelt, wieder

abzuführen. Dies ist wichtig, da durch die Akustik-Ausstattung des Windkanals, welche zugleich isolierend wirkt, die Wärmeabgabe nach außen noch mehr als bei üblichen Windkanälen erschwert wird. In der Querverbindung zwischen den Strömungskanal des Ventilators und dem Strömungskanal mit Düse und Meßstrecke sind in ähnlicher Weise wie in den Querschenkel der Strömungsführung zwischen Auffänger und Ventilator zugleich zur Strömungsumlenkung und -verteilung dienende kulissenartige Schalldämpferelemente eingebaut (13). Stromab hinter dieser die Strömung insgesamt um 180° umlenkenden Einrichtung (13) befindet sich ein Schutzsieb (14), dahinter ein Gleichrichter (15) und erforderlichenfalls noch ein oder mehrere Turbulenzsiebe (16). Die Düse, insgesamt mit dem Bezugszeichen (1) gekennzeichnet, besteht aus einem feststehenden Teil (1a) und einem um die vertikale Achse (17) schwenkbaren Teil (1b). Sowohl der feststehende als auch der schwenkbare Teil sind mit Einlaufungen (18) bzw. (19) ausgestattet. In vorliegendem Fall weist die Düse einen ebenen horizontalen Boden (20) auf, der in der gleichen Horizontalebene liegt wie der Meßkammerboden (21), auf dem das Modell (3) positioniert ist. Die Düse selber ist von einer Vorkammer (22) umgeben. Wird nun das schwenkbare Düsenvorderteil (1b) gedreht, so kann innerhalb dieser Düsenvorkammer (22) das feststehende Düsenvorderteil (1a) umströmt werden. Außerdem ist dort, wo durch das Schwenken des Düsenvorderteils der Ausströmquerschnitt aus dem feststehenden Düsenteil (1a) freigegeben wird, eine Ausströmung in diese großzügig bemessene Düsenvorkammer (22) möglich. Dadurch wird ein Aufstau der Strömung in der Düse vermieden und die Geschwindigkeitsverteilung am Austritt der Schwenkdüse im Meßstrahl wird durch das Schwenken, wenn überhaupt, dann nur kaum merklich beeinflusst. Wenn diese Düsenvorkammer schallabsorbierend ausgekleidet wird, so wirkt sie in Verbindung mit der vorteilhafterweise ebenfalls schallabsorbierend bekleideten Düsenaußenwand noch zusätzlich wie ein Kammerschalldämpfer. Um eine Abdichtung der Düsenvorkammer gegenüber dem Meßraum zu erreichen, ist die Außenwand des schwenkbaren Düsenvorderteils (1b) bezogen auf die Schwenkachse (17) zylindrisch ausgeführt. Der entsprechende Teil der Außenwand ist durch das Zeichen (23) gekennzeichnet. Auf dieser zylindrischen Außenwand kann eine Dichtlippe aufliegen, welche den Spalt zwischen verschwenkbarem Düsenvorderteil und Düsenvorkammer auch bei Schwenkbetrieb zuverlässig dichtet. In ähnlicher Weise ist eine Dichtung für die Zylinderquerschnittsfläche (24) oben und gegebenenfalls auch unten am Düsenvorderteil vorgesehen. Wenn der Boden (25) des schwenkbaren Düsenvorderteils (1a) in vorteilhafter Weise ein Kreisausschnitt aus dem Meßraumboden ist, so wird die Abdichtung des Düsenbodens z. B. als Lippendichtung am Umfang dieses Kreisausschnitts oder unterhalb desselben angebracht. Der Antrieb der Schwenkdüse, in den Figuren nicht eingezeichnet, erfolgt mittels einer Hydraulik oder einer Kurbelschwinge und entspricht den gemäß dem Stand der Technik im Maschinenbau üblichen Antriebskonzepten.

Ergebnisse, die an einem Modellwindkanal mit einer solchen Schwenkdüse gemessen wurden, sind in Form von Geschwindigkeitsverteilungen in den Fig. 4 bis 9 dargestellt. Fig. 4 zeigt ein Geschwindigkeitsprofil, 60 stromab von der Windkanaldüse in einer Höhe von 100 mm über dem Meßstreckenboden. Diese Maße gelten als Beispiel für ein Modell etwa im Maßstab 1 : 5

bis 1 : 8, bezogen auf den Windkanal in Großausführung, der die Untersuchung eines Personenkraftwagens in Originalgröße gestattet. Man erkennt, daß die Geschwindigkeitsverteilung sehr gleichmäßig ist. Die Fig. 5 zeigt für Schwenkwinkel $\beta = +18^\circ$ und die Fig. 6 für Schwenkwinkel $\beta = -18^\circ$ ebenfalls nahezu genauso gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilungen wie für $\beta = 0^\circ$. In der Fig. 7 ist das vertikale Geschwindigkeitsprofil entlang der Höhenkoordinate Z aufgetragen und zwar wiederum für Schwenkwinkel 0° . Die Fig. 8 und 9 zeigen die entsprechenden Geschwindigkeitsprofile für die um $+18^\circ$ bzw. -18° verschwenkte Düse. Auch hier sind die Geschwindigkeitsverteilungen wieder sehr gleichmäßig und unterscheiden sich nicht merklich von der Geschwindigkeitsverteilung für die unverschwenkte Düse. Mit der Erfindung wird also die gestellte Aufgabe gelöst, einen Windkanal mit guter Strömungsqualität zu schaffen, bei dem während des Windkanalbetriebs, also bei Anströmung des im Windkanal befindlichen Objektes mit dem Windkanalstrahl, eine Veränderung der Strömungsrichtung möglich ist.

Patentansprüche

1. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Windkanaldüse zur Erzeugung einer in ihrer Richtung veränderlichen Strömung während des Betriebes, also bei blasendem Wind, geschwenkt werden kann.
2. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelgeschwindigkeit der Schwenkbewegung der zeitlichen Änderung des Strömungswinkels entspricht, die an einem Personenzug bei Fahrt im böigen Seitenwind oder beim Überholen anderer Fahrzeuge auftritt.
3. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelgeschwindigkeit der Schwenkbewegung in einen Bereich zwischen 30 Winkelgrad je Sekunde und 120 Winkelgrad je Sekunde liegt und der Schwenkwinkelbereich $\pm 30^\circ$, vorzugsweise ca. $\pm 20^\circ$ umfaßt.
4. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwenkbewegung um die vertikale Achse (17) erfolgt.
5. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strömungsrichtungsänderung durch Drehen des Düsenvorderteils (1b) erreicht wird.
6. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Düsenvorderteil (1b) von dem stromauf befindlichen Düsenhinterteil (1a) im Bereich des Wendepunktes der Düsenkontur zwischen der — von der Düsenmittellinie aus betrachtet — konkaven Krümmung des Düsenhinterteils und der konvexen Krümmung des Düsenvorderteils abgetrennt und das Düsenvorderteil an dieser Trennstelle von einer Einlaufung (19) umgeben ist.
7. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Windkanalmessstrecke einen planen, horizontalen, z. B. einer Fahrbahnoberfläche entsprechenden Boden (20) aufweist.
8. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach dem Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die hori-

zontale Bodenfläche (21) der Meßstrecke sich in der Düse als Düsenboden (20) fortsetzt.

9. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das schwenkbare Düsenvorderteil (1a) auf einen kreisförmigen Ausschnitt (25) der Bodenplatte montiert ist, dessen Mittelpunkt auf der vertikal verlaufenden Schwenkachse (17) liegt.

10. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Düsenvorderteil (1b) zentrisch zur Schwenkachse (17) von einem Zylinder umgeben ist, dessen Mantelfläche (23) nach Art eines Kükens das Düsenvorderteil bei der Schwenkbewegung gegen eine Kammer abdichtet, welche die Düse umgibt.

11. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse von einer Kammer (22) umgeben ist, in welcher sich bei Schwenken der Düse eine Ausgleichsströmung einstellt.

12. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (22), welche die Düsen umgibt, im Bereich des Eintritts in das Düsenhinterteil (1a) einen Rechteckquerschnitt hat und sich im Bereich des Düsenvorderteils der Düsenkontur durch einen seitlichen Einzug anpaßt.

13. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Düsenhinterteil (1a) am Eintritt eine Einlaufrundung (18) und ein oder mehrere Turbulenzsiebe sowie einen Gleichrichter aufweist.

14. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Eintritt in die Düse in der diese umgebenden Kammer (22) ein Schutzsieb (14), ein Gleichrichter (15) und ein oder mehrere Turbulenzsiebe (16) eingebaut sind.

15. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß am Eintritt des Düsenvorderteils (1b) ein Turbulenzsieb eingebaut ist.

16. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenquerschnitt rechteckig ist.

17. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenquerschnitt oben gebrochene Ecken (26) aufweist und der oberen Hälfte eines Achteckquerschnittes entspricht, dessen horizontale Achse in die Bodenplatte fällt.

18. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe des Zylinders (23) nach Anspruch 10 mindestens der Höhe der Düse entspricht und der Zylinder an seiner Oberseite mit einer horizontalen Dichtfläche (24) abschließt.

19. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der die Düse umgebenden Kammer zum Düsen Eintrittsquerschnitt in einem Verhältnis 12 bis 5 steht und die Düse selbst ein Verhältnis von Eintrittsquerschnitt zu Austrittsquerschnitt im Verhältnis 2 bis 6 aufweist.

20. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das schwenkbare Düsenvorderteil ein Verhältnis von Eintrittsquerschnitt zu Austrittsquerschnitt im Verhältnis 1,5 bis 3 aufweist.

21. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite des Auffängers (8) am Ende der Meßstrecke der vollen Breite des hin und her schwenkenden Freistrahls entspricht.

22. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Auffänger durch horizontale Leitschaukeln in seiner Höhe unterteilt ist.

23. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die horizontalen Leitschaukeln zugleich Umlenkschaukeln zur Umlenkung der Strömung in die vertikale Richtung sind.

24. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenkschaukeln zugleich geräuschkämpfende Funktion haben.

25. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Strömungsantrieb und der Zuströmung zur Düse eine geräuschkämpfende Einrichtung eingebaut ist.

26. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Geräuschkämpfung mit der Funktion zur Umlenkung der Strömung um 180° kombiniert ist.

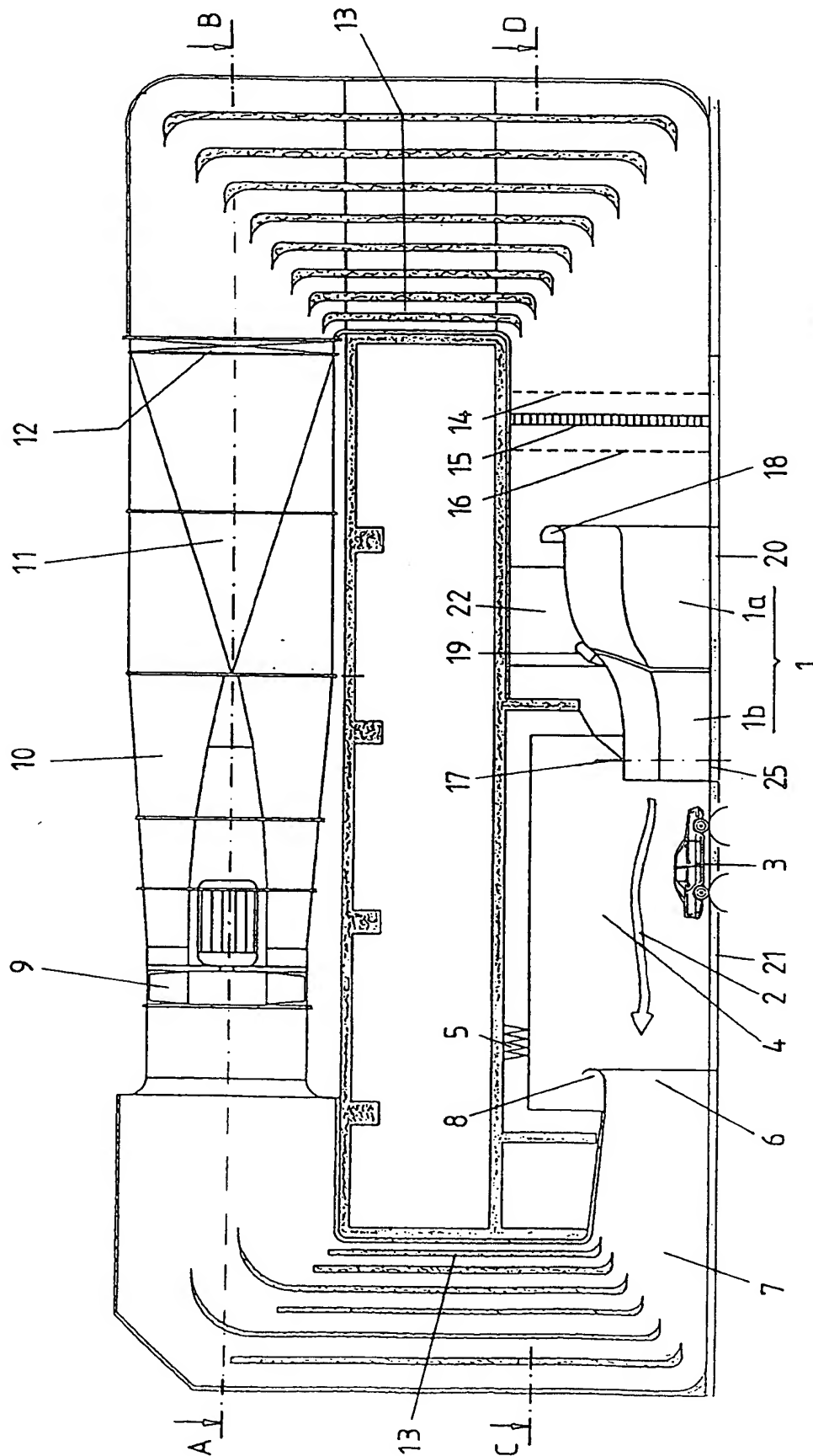
27. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach den Ansprüchen 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandflächen der Strömungsführung und des die Freistrahlmessstrecke umgebenden Raumes ganz oder teilweise schallabsorbierend ausgebildet oder schallschluckend bekleidet sind.

28. Windkanal mit Freistrahlmessstrecke nach den Ansprüchen 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (22), welche die Düse (1) umgibt, ganz oder teilweise schallabsorbierend ausgekleidet ist und auf diese Weise in Verbindung mit der Düsenaußenwand, welche ganz oder teilweise schallabsorbierend bekleidet sein kann, wie eine Schalldämpfkammer wirkt.

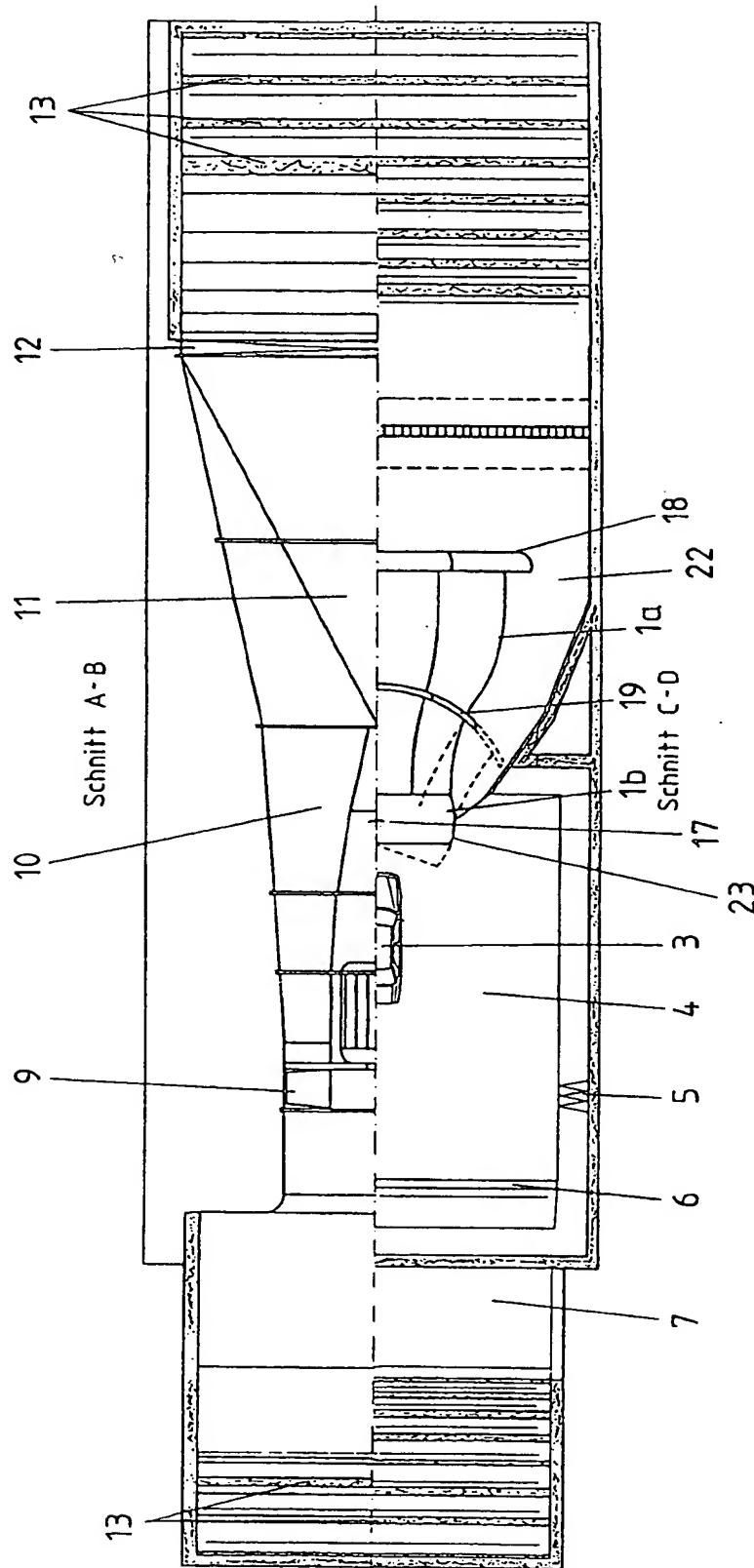
Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

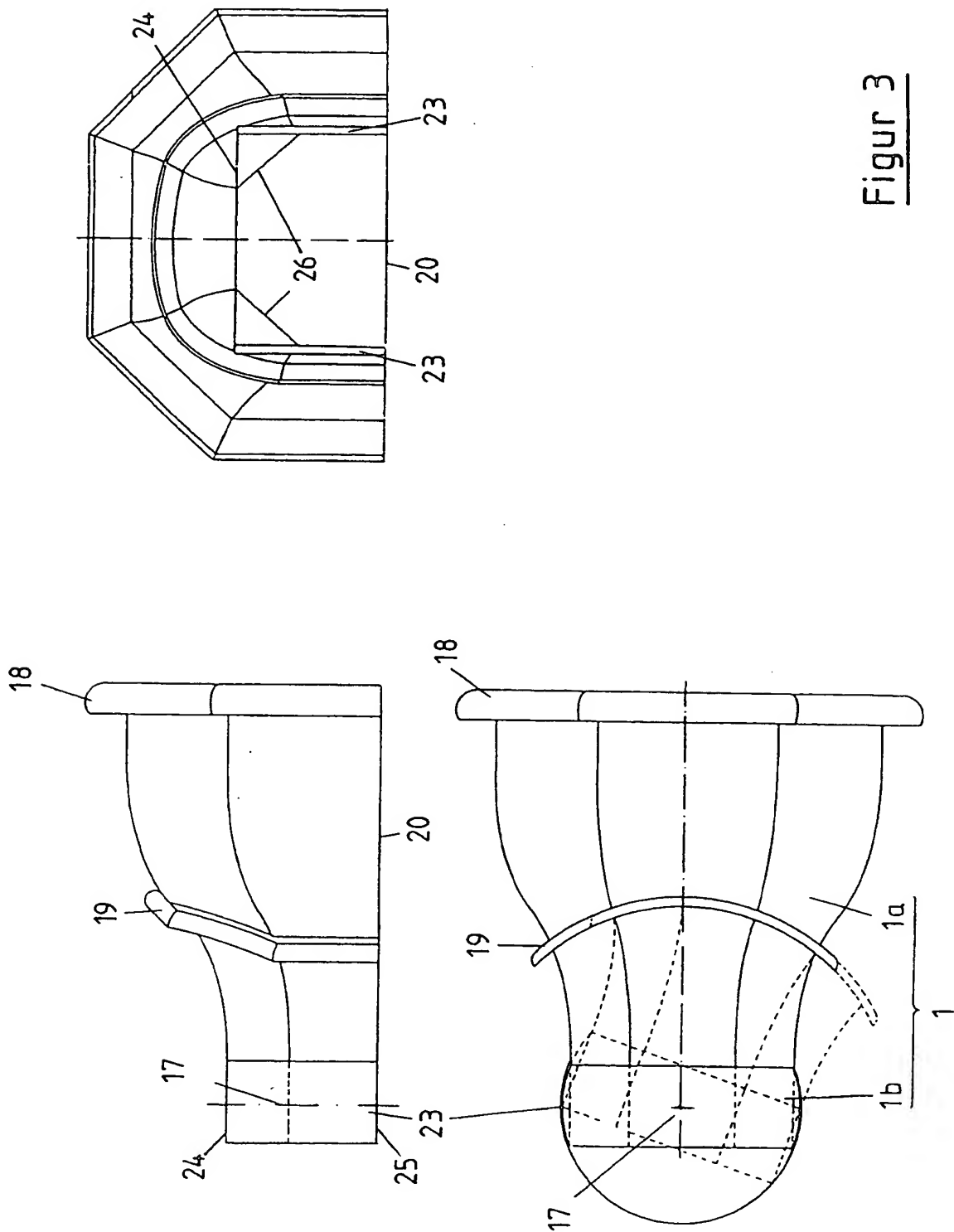
THIS PAGE BLANK (USPTO)



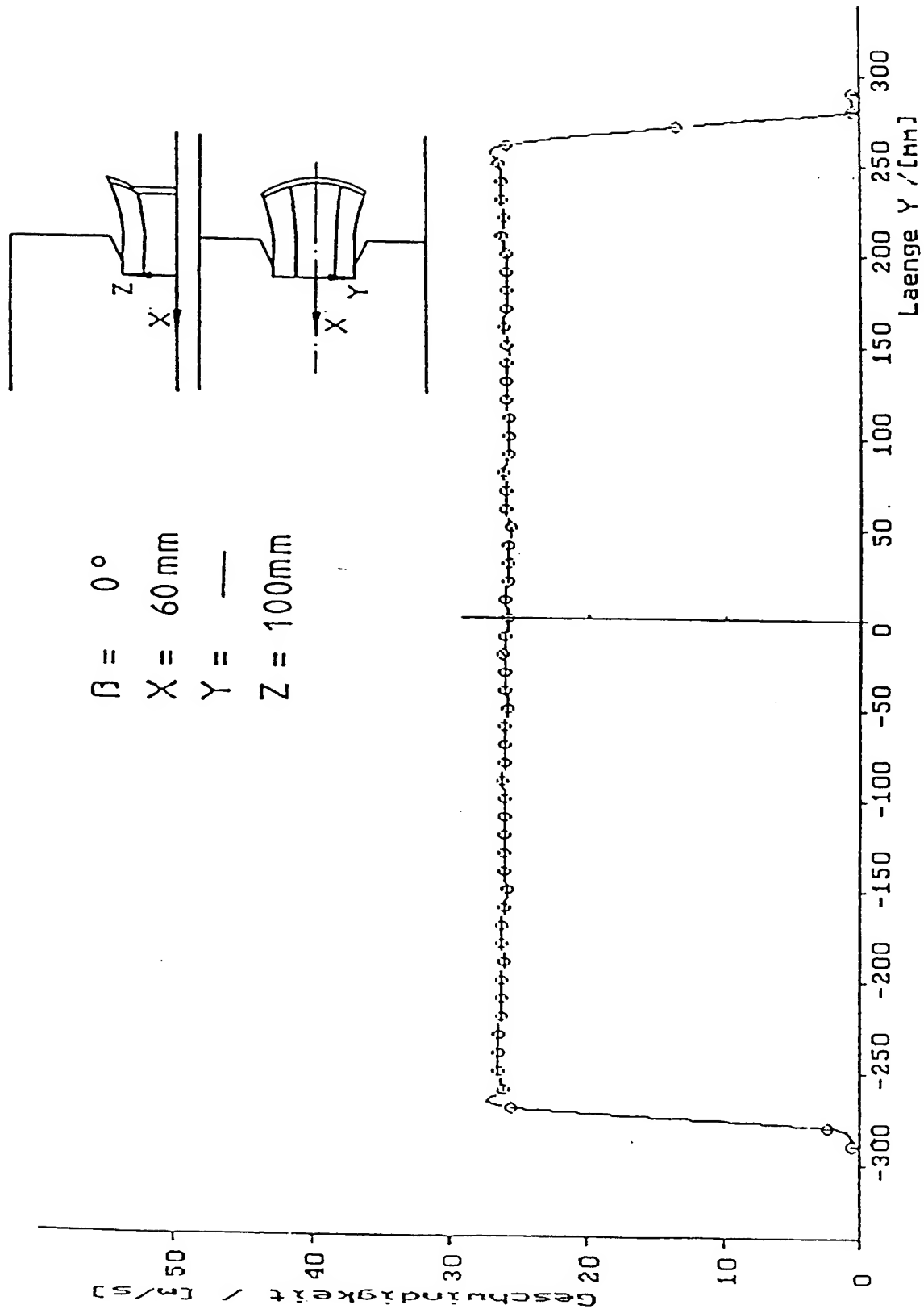
Figur 1



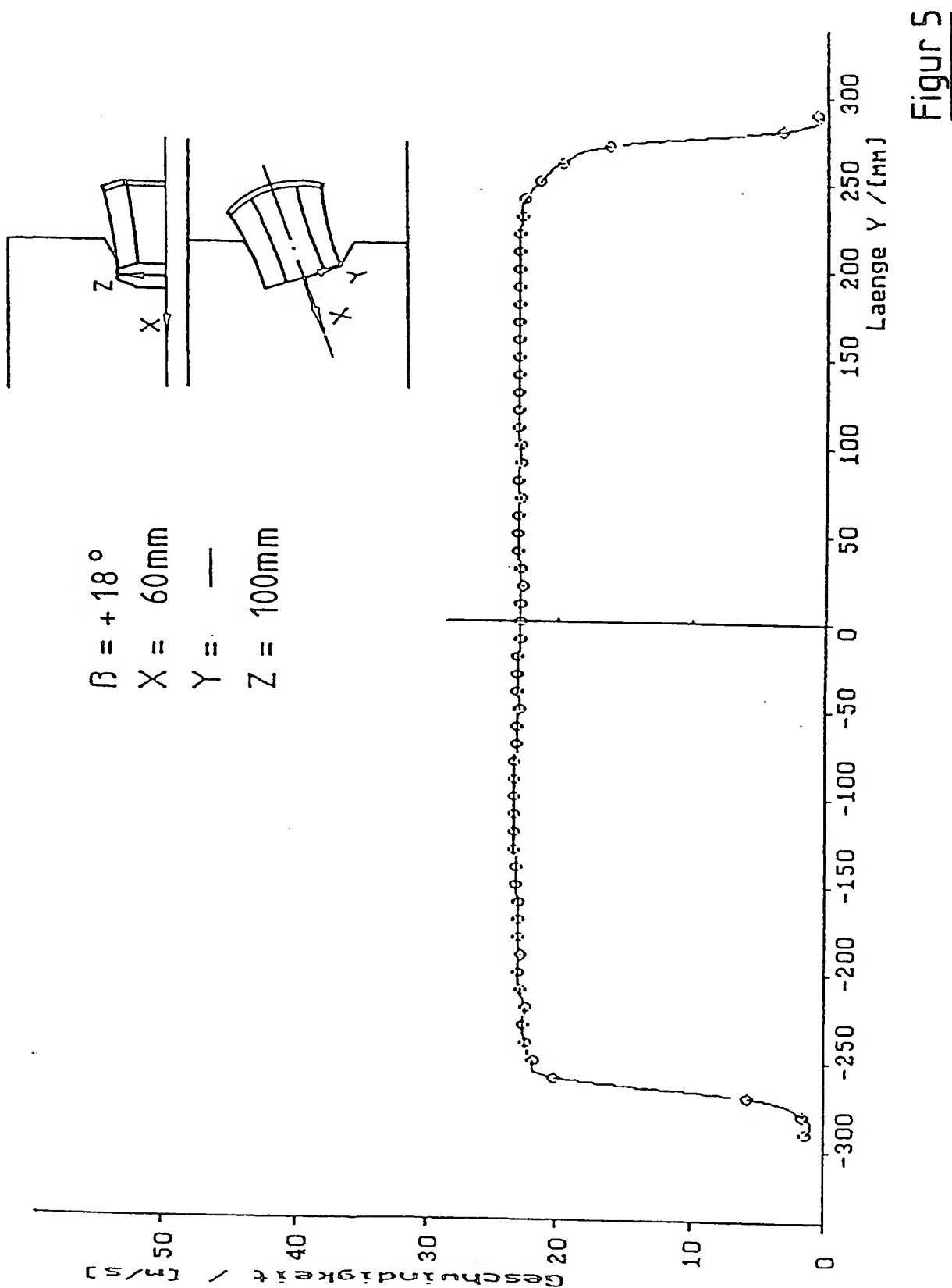
Figur 2



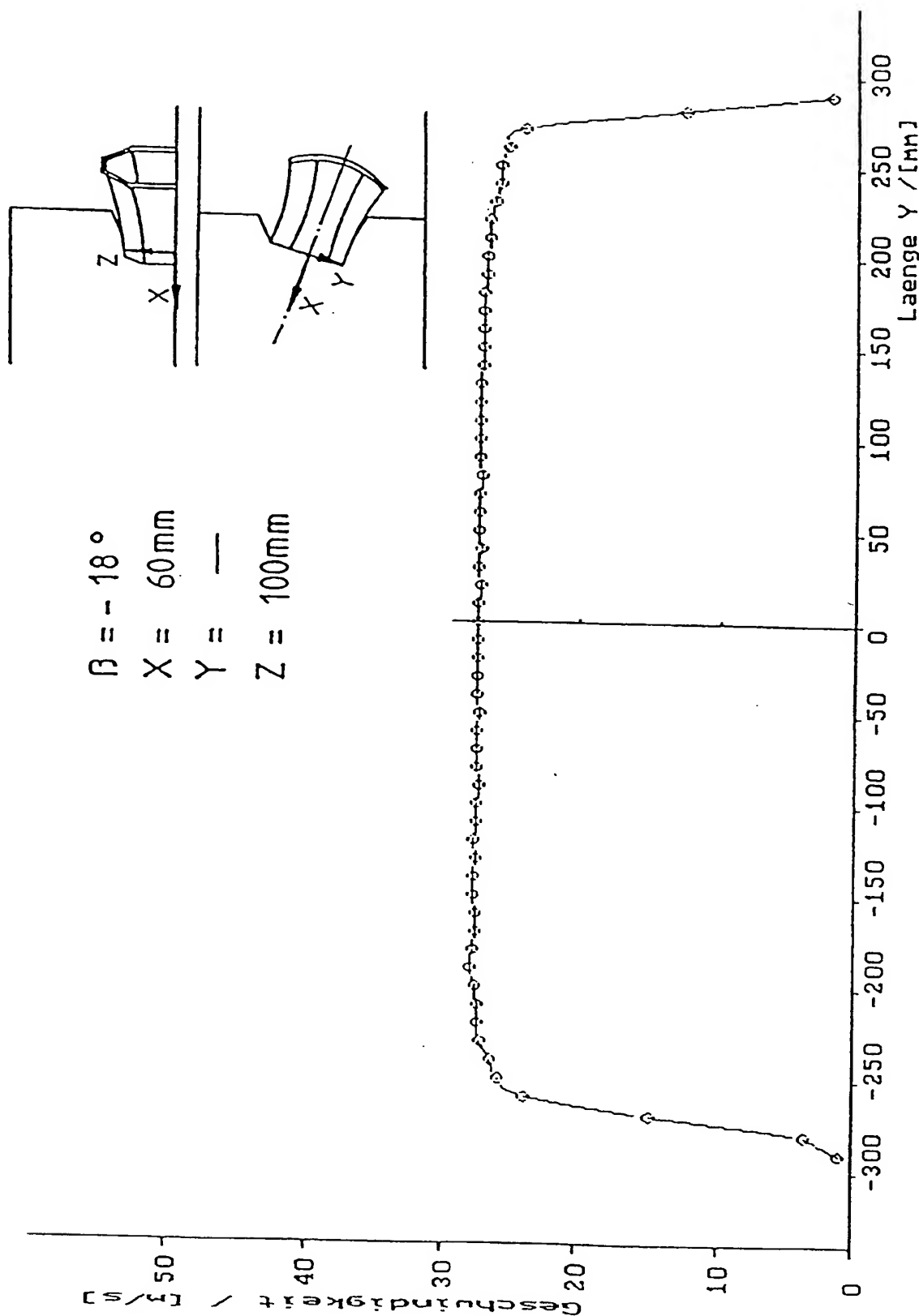
Figur 3



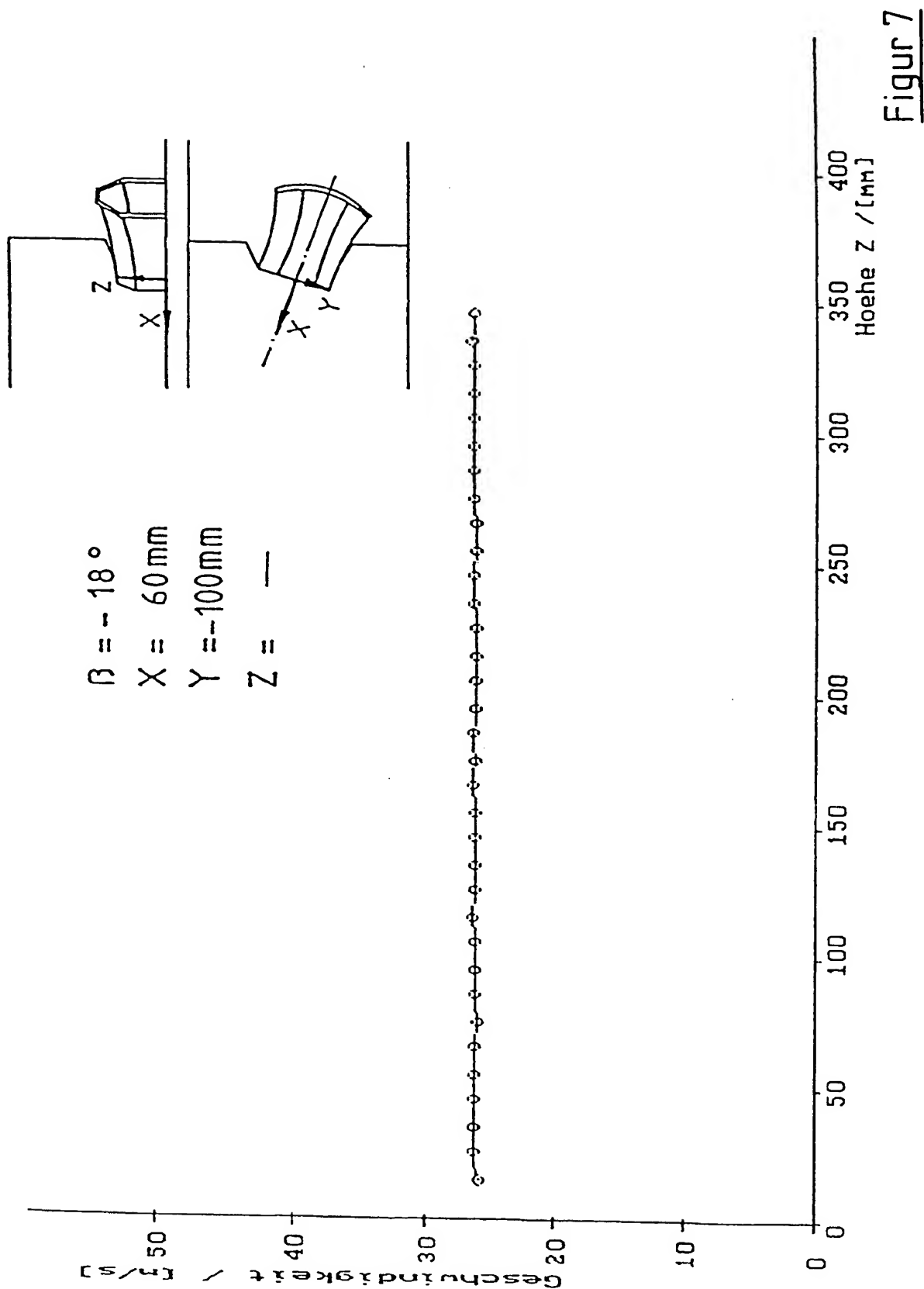
Figur 4

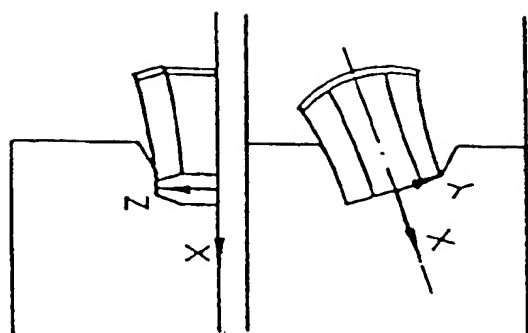


Figur 5

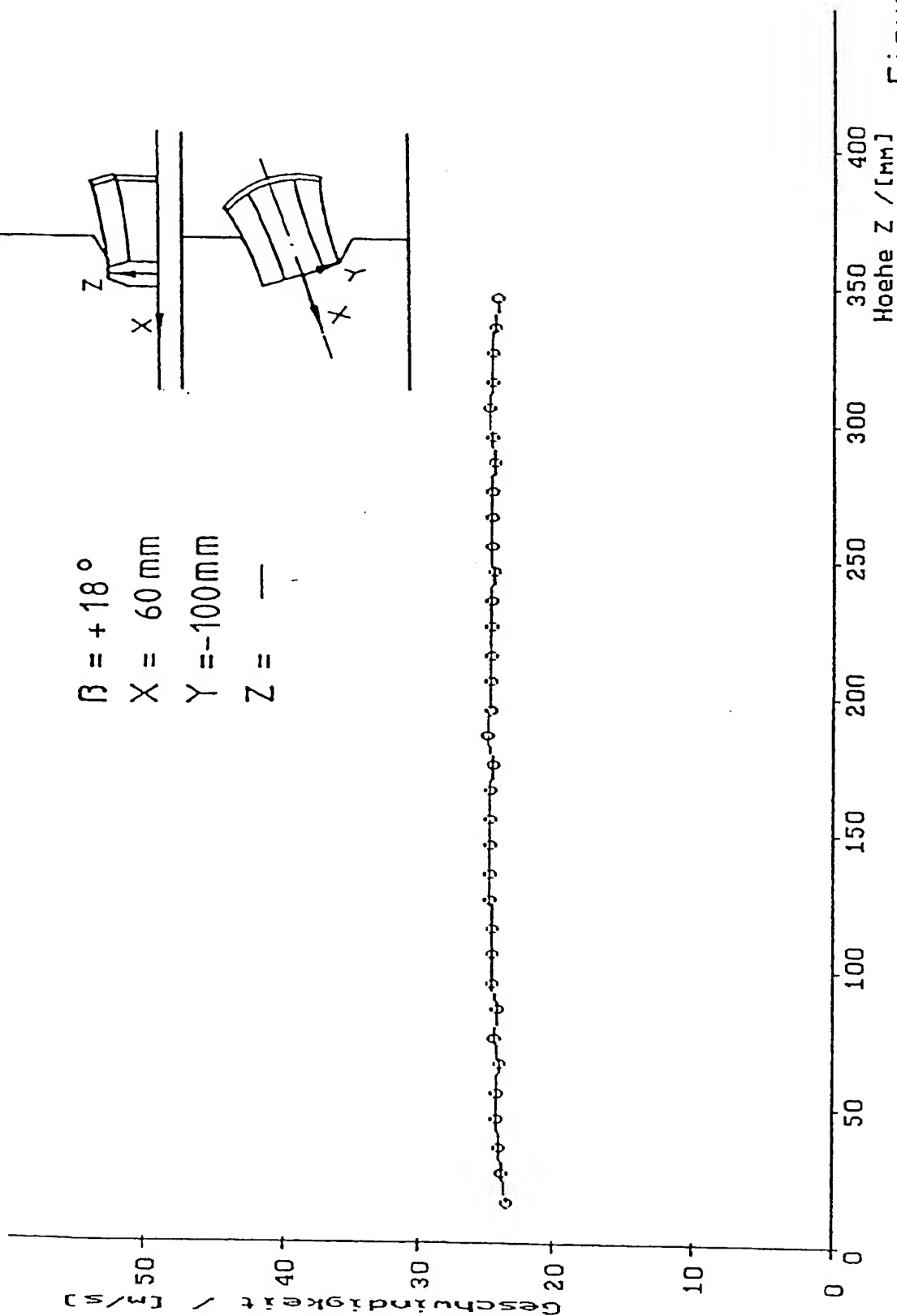


Figur 6

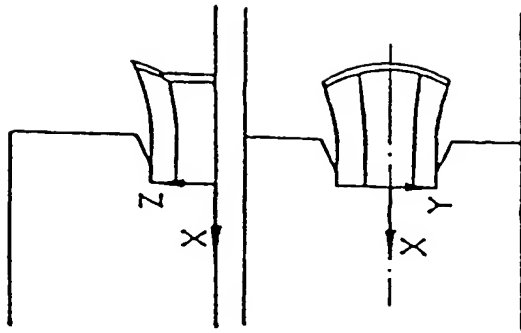




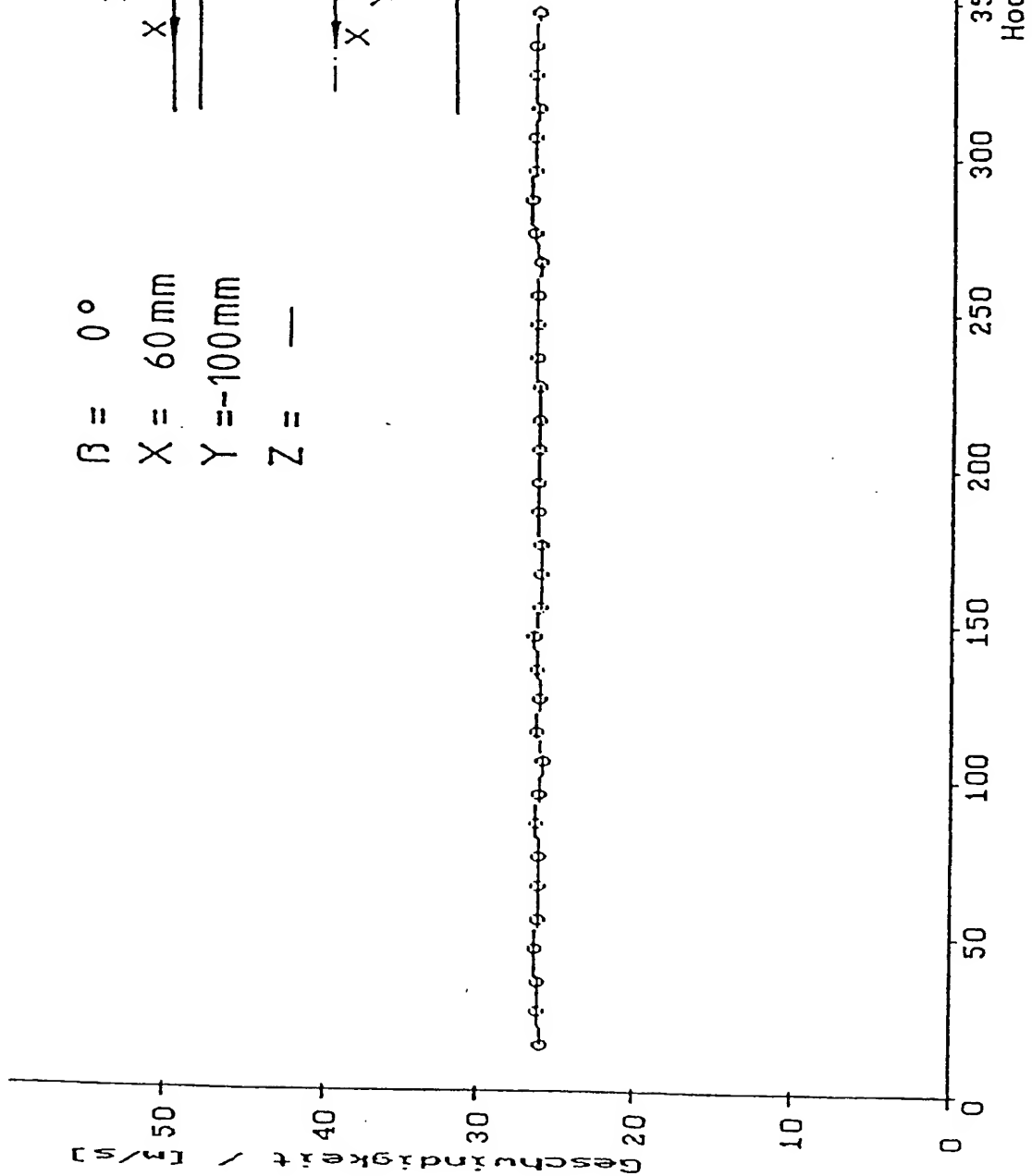
$\beta = +18^\circ$
 $X = 60 \text{ mm}$
 $Y = -100 \text{ mm}$
 $Z = -$



Figur 8



$\beta = 0^\circ$
 $X = 60 \text{ mm}$
 $Y = -100 \text{ mm}$
 $Z = -$



Figur 9